

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический  
университет»

## **РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА**

Выпускная квалификационная работа бакалавра  
по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение  
(по отраслям)  
профилю подготовки «Энергетика»  
специализации «Управление производством: электроснабжение,  
электромеханика и автоматика

Идентификационный код ВКР: 132

Екатеринбург 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический  
университет»  
Институт инженерно-педагогического образования  
Кафедра энергетики и транспорта

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:  
Заведующий кафедрой ЭТ  
\_\_\_\_\_ А.О.Прокубовская  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

### **РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА**

Исполнитель:

студент группы УПЭ-401

А.Е. Кислицын

Руководитель:

старший преподаватель

В.В. Ипполитов

Нормоконтролер:

старший преподаватель кафедры ЭТ

Т.В. Лискова

Екатеринбург 2018

## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 53 страницах, содержит 5 рисунков, 10 таблиц, 32 источника литературы, а также 2 приложения на 4 страницах.

Ключевые слова: ТРАНСФОРМАТОР, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА.

Кислицын А. Е. Разработка электроснабжения теплового пункта: выпускная квалификационная работа / А. Е. Кислицын; Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. энергетики и транспорта. – Екатеринбург, 2018. – 53 с.

Краткая характеристика содержания ВКР:

1. Тема выпускной квалификационной работы «Разработка электроснабжения теплового пункта».
2. Цель выпускной квалификационной работы является разработать систему электроснабжения центрального теплового пункта.
3. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был произведён расчёт нагрузки теплового пункта на основании которого был выполнен расчет токов короткого замыкания, выбор силового трансформатора, кроме этого произведен выбор защитной аппаратуры и проводников. Также была выполнена проверка выбранного электрооборудования и произведен расчет защитного контура заземления. Рассмотрены вопросы безопасности и экологичности теплового пункта. Выбраны меры по технике безопасности, электробезопасности, противопожарной защите и воздействия на окружающую среду.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОВОГО ПУНКТА.....	7
1.1. Общие сведения о тепловом пункте.....	7
1.2. Общие сведения об оборудовании .....	8
2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА .....	12
2.1. Расчет электрических нагрузок в сетях с напряжением до 1 кВ.....	12
2.2. Расчет и выбор освещения .....	17
2.3. Выбор силового трансформатора и расчет его мощности.....	20
2.5. Выбор распределительных устройств.....	21
2.6. Расчет токов короткого замыкания .....	24
2.4. Выбор электрических аппаратов .....	28
2.7. Проверка автоматических выключателей .....	30
2.8. Заземляющее устройство.....	31
2.9. Безопасность и экология окружающей среды.....	33
3. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	52
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	58

## **ВВЕДЕНИЕ**

Электроснабжение – это постоянная работа и комплекс взаимосвязанных электроустановок, подготовленных с целью производства, передачи и распределения электроэнергии потребителю.

Система электроснабжения объекта обязана гарантировать удобство и безопасность в обслуживании, необходимое качество электроэнергии и бесперебойность электроснабжения в нормальном, аварийном и послеаварийном режимах. Вместе с этим, система электроснабжения обязана быть достаточно экономичной. Достаточно значительные вспомогательные условия предъявляют электроприемники с сильно неустойчивой ударной нагрузкой и потребители, требующие только бесперебойного питания при различных режимах работы. С целью исполнения абсолютно всех вышеизложенных обстоятельств следует ещё на стадии проектирования гарантировать создание подходящей системы электроснабжения.

Задачи электроснабжения:

1. Надежность, которая зависит от правильного выбора схем оборудования и защиты по категориям ЭП.
2. Качество обеспечивает нормирование колебаний напряжения и частоты.
3. Экономичность - это потребление электроэнергии с нормально работающим оборудованием, т.е. с наибольшей отдачей.

Задачи электроснабжения не должны реализоваться, в случае если не установлены все без исключения требуемые мероприятия согласно ОТ, т. к. не выполнение правил приводит к несчастным случаям, травмам и увечьям, а просчеты электроснабжения имеют все шансы послужить причиной к негативным влияниям на экологию окружающей среды.

В системе электроснабжения объектов можно отметить 3 типа электроустановок:

- электрические станции (по производству электроэнергии);
- электрические сети и подстанции (по передаче, преобразованию и распределению электроэнергии);
- приемники электроэнергии (по потреблению электроэнергии в производственных и домашних нуждах).

Электроснабжение теплового пункта подразумевает собою операцию развития и принятия заключений в соответствии с схемами электрических соединений, составу электрооборудования и его размещению, взаимосвязанный с формированием расчетов, поиском изящных компоновок, оптимизацией элементов и объекта в целом. Главное оборудование теплового пункта рассчитывается на основе условий правил приборов электроустановок (ПУЭ) и должно соответствовать плану работы схемы, в которой установлено.

Тепловые пункты в части прочности электроснабжения необходимо причислять к электроприемникам II группы при монтаже в них подкачивающих миксерных и оборотных насосов систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, а кроме того запорной арматуры при телеуправлении. В тепловых пунктах необходимо учитывать рабочее искусственное освещение ради VI разряда визуальной работы и аварийное освещение.

Электрические сети обязаны гарантировать вероятность работы сварных агрегатов и ручного электромеханического инструмента. Оборудование обязано соответствовать условиям ПУЭ с целью деятельности во влажных помещениях, а в подземных встроенных и пристроенных тепловых пунктах - в сырых помещениях. Для металлических элементов электроустановок, не находящихся под напряжением, должно быть предусмотрено заземление.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является центральный тепловой пункт жилых домов.

Предметом исследования выпускной квалификационной работы является электрооборудование центрального теплового пункта.

Цель данной выпускной квалификационной работы является разработать систему электроснабжения центрального теплового пункта. Главной целью выполнения работы является проверка усвоения дисциплин, предусмотренных учебным планом, и формирование возможности независимо улаживать практические задачи проектирования систем электроснабжения.

Задачи работы:

- произвести расчет электрических нагрузок;
- произвести расчет и выбор трансформатора;
- выбрать провода для внешних и внутренних электропроводок;
- произвести расчет и выбор устройств защитной аппаратуры;
- выполнить проверку выбранной защитной аппаратуры;
- произвести расчет заземляющего устройства;
- разработать практическое занятие.

# **1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОВОГО ПУНКТА**

## **1.1. Общие сведения о тепловом пункте**

Центральный тепловой пункт расположен в одном из районов города Верхняя Пышма.

Общая тепловая нагрузка установленного оборудования составляет 11,32 Гкал/час (13,165МВт), в том числе:

- на отопление – 7,33 Гкал/час (8,53 МВт);
- на вентиляцию – 0,104 Гкал/час (0,12 МВт);
- на горячее водоснабжение – 3,9 Гкал/час (4,54 МВт).

Тепловая энергия, вырабатываемая тепловым пунктом, служит для теплоснабжения жилых домов.

Фактические параметры теплоносителя в тепловых сетях приняты по данным эксплуатирующей организации при температуре окружающей среды равной минус 35 °С:

- температура теплоносителя в отопительный период до ЦТП в подающем трубопроводе 170 °С, в обратном 70 °С. Давление испытаний 25,0 кгс/см<sup>3</sup> (2,5 МПа);
- температура теплоносителя в межотопительный период до ЦТП 65 °С;
- температура теплоносителя после ЦТП на отопление и вентиляцию в подающем трубопроводе 105 °С, в обратном 70 °С. Давление испытаний 16,0 кгс/см<sup>3</sup> (1,6 МПа);
- температура теплоносителя после ЦТП на горячее водоснабжение 65 °С.

Существующая схема теплоснабжения до ЦТП – двухтрубная; после ЦТП – трех- и двухтрубная. Схема присоединения системы отопления и вентиляции – зависимая с установкой корректирующего насоса, с



возможностью работы в режиме «на вкачку» в обратную магистраль. Открытый водоразбор на горячее водоснабжение (ГВС) по самостоятельному трубопроводу после ЦТП без циркуляции для жилых домов 1 группы.

Для зданий 2 группы – предусмотрена двухтрубная схема с открытым водоразбором на горячее водоснабжение из трубопровода на отопление.

Корректирующие насосы приняты с электронно-регулируемым прибором в связи с различными режимами в тепловой сети.

Для поддержания перепада давления в тепловой сети, на обратном трубопроводе предусмотрена установка регулятора давления вида AFP-9/VFGДу200.

С целью погодного регулирования, на подающем трубопроводе тепловой сети установлен регулирующий седельный клапан VF 2 Ду150 фирмы Danfoss с электроприводом и выводом на ТРМ.

По данным эксплуатирующей организации, в отдельные дни, давление в подающем трубопроводе на вводе в ЦТП, составляет 100,0-120,0 м.в.ст., в связи с чем предусмотрена установка регулятора давления на подающем трубопроводе регулятора давления «после себя» фирмы Danfoss AFD/VFG2 Ду150 для поддержания рабочего давления равного 60,0 м.в.ст.

Для контура отопления и вентиляции предусмотрена установка датчика температуры наружного воздуха.

## **1.2. Общие сведения об оборудовании**

Рабочие напряжения: все трёхфазные потребители теплового пункта с номинальным напряжением 380В, 50Гц, однофазные потребители и освещение с номинальным напряжением 220В, 50Гц.

Основными потребителями являются трехфазные электродвигатели, они в свою очередь не нуждаются в нулевом рабочем проводнике, потому что нагрузка симметрична. При режиме нейтрали TN-C-S проводник PEN для электродвигателей будет выполнять функцию нулевого защитного

проводника. А на однофазные потребители и на освещение, в которых защитный и рабочий нулевой проводники должны быть разделены, проводник PEN будет разделён на PE (защитный) и N (рабочий) нулевой проводники.

Категория электроприемников по надежности электроснабжения, по степени бесперебойности электроснабжения электроприемники теплопункта относятся к первой категории, так как, перерыв электроснабжения может привести к нарушению функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, так при нарушении их электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

В тепловом пункте установлены:

- щит АВР (автоматический ввод резерва) - блок, который имеет автоматическую начинку, ответственную за функцию переключения с основной линии питания на резервный, и, наоборот, с резервной на основную сеть. Устройство разработано для того, чтобы электроснабжение в сети работало бесперебойно;
- щит ЩС (щит силовой) - система, созданная для ввода/вывода и контроля расходуемой энергии, защищающая также от коротких замыканий и утечек тока;
- ШУН (шкаф управления насосами) - предназначен для автоматической поддержки требуемого давления в системе водоснабжения зданий;
- ША (шкаф автоматики) - устройство, которое имеет элементы управления, которые предназначены для управления и обеспечения работоспособности устройств системы водоснабжения. Как правило, оно может применяться для обеспечения работоспособности систем горячего

водоснабжения, холодного водоснабжения и системы центрального водоснабжения;

- ЩО (щит освещения) - электротехнический распределительный щит, назначение которого - защита, присоединение и коммутация электрических цепей освещения, распределенных по зонам;

- для перекачки воды 3 насоса фирмы Wilo IL 100/165-22/2 (2 рабочих, 1 резервный).

Характеристика насосов следующая.

Насос WILO IL 100/165-22/2 - циркуляционный насос с сухим ротором, фланцевым соединением, классом защиты IP 55, двигатель насоса отделен от рабочей зоны с перекачиваемой жидкостью и надежно защищен торцевым уплотнением. Это современный и надежный промышленный насос. Его применяют в системах отопления и горячего водоснабжения, циркуляции, промышленных установках и технологических процессах.

Насос перекачивает воду в системах отопления температурой от -200 °С до +1400 °С, охлаждающую или холодную воду, водогликолевую смесь (с долей гликоля 20-40 об. % и температурой перекачиваемой среды < 400 °С) [11].

План расположения оборудования представлен на 1 рисунке, а исходные данные в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные оборудования

Наименование	Количество	U, кВ	P <sub>уст</sub> , кВт	cosφ
Насосы	3	0,38	22	0,87
ША	1	0,22	0,3	0,9

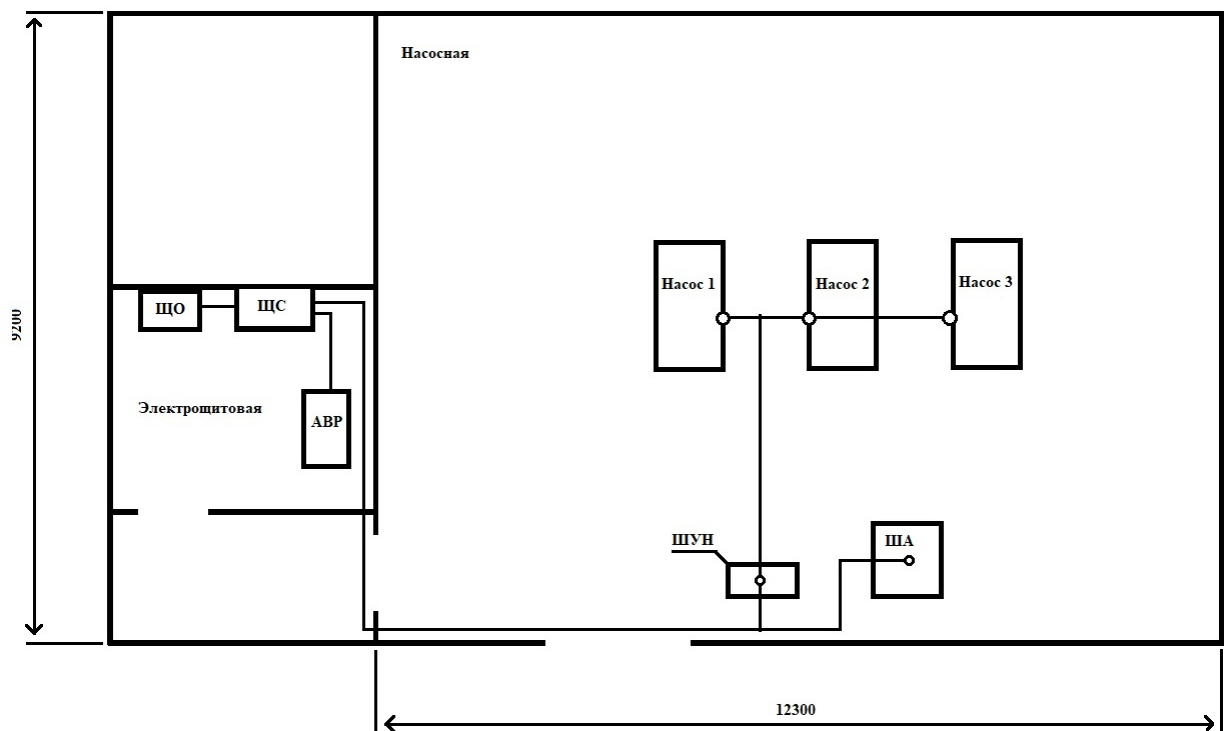


Рисунок 1 - План расположения оборудования

## 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА

### 2.1. Расчет электрических нагрузок в сетях с напряжением до 1 кВ

Первым и главным этапом проектирования электроснабжения является определение электрических нагрузок. По значению электрических нагрузок выбирают и проверяют электрооборудование системы электроснабжения, определяют потери мощности и электроэнергии.

Расчёт электроприёмников напряжением до 1000 В, располагающихся в тепловом пункте, производим методом коэффициента расчётной активной мощности отдельно для каждого узла согласно форме Ф636-92. Все расчёты сводим в таблицу 2.

Исходными для расчёта служат данные таблицы 1, на основе которых заполняются столбцы 2, 3 и 6. Коэффициенты использования  $K_{и}$  электроприёмников определены справочным данным [9].

Номинальная активная мощность электрооборудования – мощность, указанная в техническом паспорте данного оборудования, при которой оно должно работать.

В столбец 4 записывается общая установленная мощность однотипных электроприёмников:

$$P_{ном} = \sum p_{ном}. \quad (1)$$

В столбец 7 записываем значение  $\text{tg}\varphi$ , определяемое как:

$$\text{tg}\alpha = \sqrt{\frac{1}{\cos^2\alpha} - 1}. \quad (2)$$

В столбцах 8,9 построчно записываются значения  $K_{и} \cdot P_{ном}$  и  $K_{и} \cdot P_{ном} \cdot \text{tg}\varphi$ .

Групповой коэффициент использования для узла определяется по следующей формуле:

$$K_{и(гр)} = \frac{\sum (K_{и} \cdot P_{ном})}{\sum P_{ном}}. \quad (3)$$

Полученное значение заносится в итоговую строку по ЩС столбца 5.

Для нахождения расчётной активной мощности электроприёмников необходимо знать расчетный коэффициент  $K_p$ , который зависит от эффективного числа электроприёмников.

Эффективное число электроприемников - такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности электроприемников [21].

Для его нахождения построчно определяем значение  $n \cdot p_{\text{ном}}^2$  для каждой группы электроприёмников и сумму полученных значений. Результаты записываются в столбец 10.

Эффективное число электроприёмников (столбец 11):

$$n_3 = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum n P_n^2}. \quad (4)$$

Определяем коэффициент расчётной активной мощности  $K_p$  (столбец 12) на основе полученного эффективного числа электроприёмников, постоянной времени нагрева и группового коэффициента использования [21].

Расчетная активная мощность подключенных к узлу питания электроприемников напряжением до 1 кВ (столбец 13):

$$P_p = K_p \cdot \sum (K_n \cdot P_{\text{ном}}). \quad (5)$$

Под реактивной мощностью электроприемника представляют реактивную мощность, потребляемую из сети.

Расчетная реактивная мощность подключенных к узлу питания электроприемников напряжением до 1 кВ (столбец 14):

при  $n_3 \leq 10$ :

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum (K_n \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg} \varphi);$$

(6)

при  $n_3 \geq 10$ :

$$Q_p = \sum (K_n \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg} \varphi); \quad (7)$$

для магистральных шинопроводов независимо от  $n_3$ :

$$Q_p = K_p \cdot \sum (K_n \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg} \varphi). \quad (8)$$

Полная расчётная мощность равна (столбец 15):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (9)$$

Расчётный ток (столбец 16):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (10)$$

Приведём пример расчёта для подключенных к ЩС насосов.

Резервные ЭП, а также ЭП, работающие кратковременно, в расчете не учитываются, поэтому выполним расчет нагрузки только для 2 насосов, так как 3 резервный.

Общая установленная мощность (1) и  $\operatorname{tg} \varphi$  (2):

$$P_{\text{ном}} = \sum p_{\text{ном}} = 2 \cdot 22 = 44 \text{ кВт};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1} = \sqrt{\frac{1}{(0,87)^2} - 1} = 0,57.$$

Значения  $K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}}$ ,  $K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot \operatorname{tg} \varphi$  и  $n \cdot p_{\text{ном}}^2$ :

$$K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}} = 0,7 \cdot 44 = 30,8 \text{ кВт};$$

$$K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0,7 \cdot 44 \cdot 0,57 = 17,556 \text{ кВАр};$$

$$n \cdot p_{\text{ном}}^2 = 2 \cdot 22^2 = 968.$$

Групповой коэффициент использования (3):

$$K_{\text{и(гр)}} = \frac{\sum (K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}})}{\sum P_{\text{ном}}} = \frac{31,7}{44,9} = 0,7.$$

Эффективное число электроприёмников (4):

$$n_3 = \frac{(\sum P_{\text{н}})^2}{\sum n P_{\text{н}}^2} = \frac{(44,9)^2}{968,81} = 2,08.$$

Принимаем  $n_3 = 2$ .

При значениях  $n_3 = 2$  и  $K_{\text{и(гр)}} = 0,7$  для ЩС коэффициент расчётной активной мощности принимается равным  $K_p = 1,14$  [21].

Расчетная активная мощность (5) подключенных к ЩС электроприемников:

$$P_p = K_p \cdot \sum (K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}}) = 1,14 \cdot 31,7 = 36,14 \text{ кВт}.$$

Расчетная реактивная мощность (6) подключенных к ЩС электроприемников напряжением ( $n_3 = 3 \leq 10$ ):

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum (K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg}\varphi) = 1,1 \cdot 18 = 19,8 \text{ кВАр.}$$

Полная расчётная мощность (9):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{(36,14)^2 + (19,8)^2} = 41,2 \text{ кВА.}$$

Расчётный ток ЩС (10):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{41,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 62,4 \text{ А.}$$

Найдем расчётную мощность теплового пункта с учётом осветительной нагрузки.

Номинальная мощность осветительной нагрузки:

$$P_{\text{но}} = F \cdot P_{\text{уд.о}} = \frac{113,16 \cdot 12}{1000} = 1,36 \text{ кВт,}$$

где  $P_{\text{уд.о}}$  – удельная плотность нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  площади [9].

Наряду с трехфазными электроприемниками имеют место стационарные и передвижные электроприемники однофазного тока, подключаемые на фазное или линейное напряжение.

При числе неравномерно распределенных по фазам однофазных приемников менее четырех  $P_{\text{н}}$  определяют упрощенными способами:

При включении однофазных приемников на фазные напряжения  $P_{\text{ном.у}}$  принимают равной утроенному значению номинальной мощности  $P_{\text{но}}$  максимально загруженной фазы

$$P_{\text{н}} = 3 \cdot p_{\text{н.о}}. \quad (11)$$

Так как осветительная нагрузка у нас однофазный электроприемник, как и ША, то при включении их на фазное напряжение они учитываются как эквивалентные трехфазные ЭП (11) номинальной мощностью [21]:

$$P_{\text{но}} = 3 \cdot 1,36 = 4,08 \text{ кВт.}$$

Расчетная активная осветительная нагрузка:

$$P_{\text{р.о}} = P_{\text{но}} \cdot K_{\text{со}} = 4,08 \cdot 0,85 = 3,49 \text{ кВт,}$$

где  $K_{\text{со}}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки [9].



В качестве источников света используем люминесцентные лампы,  
 $\cos\varphi_0 = 0,95$ .

$$Q_{p.o} = P_{но} \cdot \operatorname{tg}\varphi_0 = 4,08 \cdot 0,33 = 1,14 \text{ кВар.}$$

Полная расчётная мощность центрального теплового пункта с учётом осветительной нагрузки:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \sqrt{(36,14 + 3,49)^2 + (19,8 + 1,14)^2} = 44,8 \text{ кВА.}$$

Результаты расчёта нагрузок центрального теплового пункта сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Расчетные нагрузки

Исходные данные							Расчетные ве- личины			Эффективное число ЭП	Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
По заданию техноло- гов				По справочным данным			$K_{и} \cdot P_{ном}$	$K_{и} \cdot P_{ном} \cdot tg \varphi$	$n \cdot P_{ном}^2$			Активная, кВт	Реактивная, кВар	Полная, кВА	
Наиме нова- ние ЭП	Количество ЭП	Номи- нальная (уста- нов- ленная) мощ- ность, кВт		Коэф- фици- ент ис- поль- зова- ния КИ	Коэф- фи- циент реак- тивной мощ- ности										
			од- но- го ЭП		об щ ая		cos φ	tg φ							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ЩС															
Насо- сы	2	22	44	0,7	0,8 7	0,5 7	30, 8	17,5 56	968						
ША	1	0,9	0, 9	1	0,9	0,4 8	0,9	0,43 2	0,81						
Итого по ЩС	3		44 ,9	0,7	0,8 7	0,5 7	31, 7	18	968, 81	2	1,1 4	36, 14	19 ,8	41, 2	62, 4
Осве- ти- тель- ная нагруз ка			4, 08	0,85	0,9 5	0,3 3						3,4 9	1, 14		
Итого			48									39,	20	44,	68

по ЦТП			,9 8								63	,9 4	8	
-----------	--	--	---------	--	--	--	--	--	--	--	----	---------	---	--

## 2.2. Расчет и выбор освещения

Правильное выполнение осветительных установок способствуют рациональному использованию электроэнергии, улучшению качества выпускаемой продукции, повышению производительности труда, уменьшению количества аварий и случаев травматизма, снижению утомляемости рабочих.

Рабочее искусственное освещение создает требуемую по нормам освещенность, обеспечивая тем самым необходимые условия работы при нормальном режиме эксплуатации здания. При погасании по каким-либо причинам рабочего освещения предусматривается аварийное освещение.

В помещение только искусственное освещение, так как отсутствуют какие-либо окна и из-за этого нет естественного освещения. Норма освещения для теплового пункта равна 75 люксов (лк) по таблице 1 [27] характеристика зрительной работы – общее наблюдение за ходом производственного процесса: периодическое при постоянном пребывании людей в повешении; разряд зрительной работы – VIII; подразряд зрительной работы – б.

Коэффициент запаса искусственного освещения для помещений, в которых менее 1 мг/м<sup>3</sup> пыли, дыма и копоти, равен 1,4 по таблице 3 [27].

Выберем метод коэффициента использования для расчета электрического освещения, потому что этот метод используется для расчета общего освещения для равномерного распределения без больших затемняющих объектов и целесообразен в случаях, когда расчет проводится по средней освещенности, когда не требуется высокой точности осветительной нагрузки.

Для установки выберем светильники вида ЛСП 3908А [6] 230 В, со степенью защиты IP65, с лампами люминесцентного вида Basic T8 Osram [6],

мощность лампы - 36 Вт, цоколь - G13, характеристика свечения - холодный белый (дневной) световой поток – 3000 лм.

Определим нужное количество светильников для теплового пункта:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K_3}{\Phi \cdot U_{oy} \cdot N}, \quad (12)$$

где  $E$  - минимальная освещенность помещения, лк;

$S$  – площадь помещения  $S = 113,16 \text{ м}^2$ ;

$Z$  – коэффициент минимальной освещённости,  $Z = 1,1$  [26];

$K_3$  – коэффициент запаса;

$\Phi$  – световой поток лампы, лм;

$U_{oy}$  – коэффициент использования;

$N$  – Количество ламп в светильнике, шт.

Найдем коэффициент использования, для этого определим КСС, он характеризуется как Д-1 [26] и найдем индекс помещения:

$$i_{\text{пом}} = \frac{S}{H_p \cdot (A+B)}, \quad (13)$$

где  $H_p$  – расчетная высота подвеса светильников;

$H_p = H - h = 4,5 - 0,3 = 4,2 \text{ м}$ ,

где  $H$  – высота потолка;

$h$  – высота светильника, светильник установлен под потолком, поэтому принимаем  $h = 0,3 \text{ м}$ .

По (13) формуле получается:

$$i_{\text{пом}} = \frac{113,16}{4,2 \cdot (9,2 + 12,3)} = 1,25.$$

Так же найдем коэффициенты отражения потолка, стен и пола, которые согласно [26] равны  $p_{\text{пот}} = 0,3$ ;  $p_{\text{ст}} = p_{\text{пола}} = 0,1$ .

Из это следует, что  $U_{oy} = 42\% = 0,42$ .

По (12) формуле найдем:

$$n = \frac{75 \cdot 113,16 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{3000 \cdot 0,42 \cdot 2} = 5 \text{ шт.}$$

Итого к установке основного искусственного освещения получилось 5 штук светильников.

Эвакуационное (аварийное) освещение необходимо для создания условий безопасного выхода людей при погасании рабочего освещения.

Произведем расчет аварийного освещения – эвакуационного [26]. Для путей эвакуации шириной до 2 м горизонтальная освещенность на полу вдоль центральной линии прохода должна быть не менее 1 люкса, при этом полоса шириной не менее 50 % ширины прохода, симметрично расположенная относительно центральной линии, должна иметь освещенность не менее 0,5 люкса [21].

Для аварийного освещения применяем светильники вида ЛСП 3908 [6] со степенью защиты IP65, КСС вида Д. с люминесцентными лампами вида Basic T8 Osram [6]. Характеристики люминесцентной лампы: мощность - 36 Вт, цоколь - G13, характеристика свечения - холодный белый (дневной), световой поток – 1200 лм.

Количество светильников аварийного освещения (эвакуационного) (12):

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K_3}{\Phi \cdot U_{oy} \cdot N} = \frac{1 \cdot 113,16 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{1200 \cdot 0,42 \cdot 1} = 1 \text{ шт.}$$

Итого к установке аварийного освещения получился 1 светильник.

Для освещения установим отдельный щиток вида ОЩВ. План расположения светильников предоставлен на рисунке 2.

### 2.3. Выбор силового трансформатора и расчет его мощности

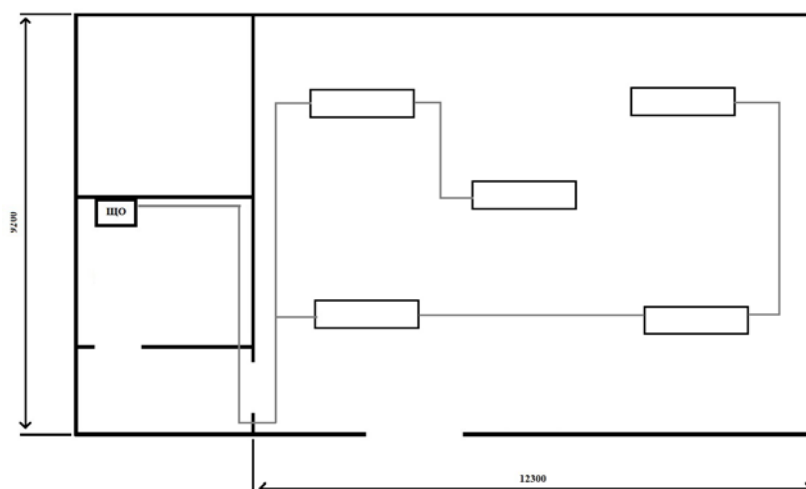
При плотности нагрузки напряжением 380 В до 0,2 кВА/м<sup>2</sup> целесообразно применять трансформаторы мощностью до 1000 кВА включительно, при плотности 0,2 – 0,3 кВА/м<sup>2</sup> – мощностью 1600 кВА. При плотности более 0,3 кВА/м<sup>2</sup> целесообразность применения трансформаторов мощностью 1600 кВА или 2500 кВА должна определяться технико-

Рисунок 2 - План освещения

экономическим расчетом.

По степени бесперебойности электроснабжения электроприемники теплового пункта относятся к I категории, согласно п. 1.2.18 [17], так как, перерыв электроснабжения может привести к нарушению функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Следовательно, по п. 1.2.19 [17] электроприемники I категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.



Для сухих трансформаторов коэффициент перегрузки принимается  $K_{\Pi}=1,2$  и коэффициента загрузки  $K_3=0,6$  [16].

Определяем расчетную мощность трансформатора:

$$S_{\text{расч}} = \frac{S_p}{K_3} = \frac{41,2}{0,6} = 69 \text{ кВА},$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки;

$S_p$  – расчетная мощность.

Принимаем ближайшее большее стандартное значение мощности трансформатора:

$$S_T = 100 \text{ кВА} > S_{\text{расч}} = 69 \text{ кВА}.$$

Выбираем трансформатор вида ТСЗ-100/0,66 [25].

Номинальная мощность 100 кВА; ВН = 380 В; НН = 230 В; потери: ХХ=390 Вт; КЗ=1450 Вт;  $U_{K3} = 4,5\%$ ;  $I_{XX} = 2,7\%$ .

Определяем фактические коэффициенты загрузки трансформаторов:

$$K_{31\text{сш}} = \frac{S_{p1\text{сш}}}{S_{\text{тфакт}}} = \frac{44,8}{100} = 0,448;$$

$$K_{32\text{сш}} = \frac{S_{p2\text{сш}}}{S_{\text{тфакт}}} = \frac{73,2}{100} = 0,732.$$

Определяем фактические коэффициенты перегрузки трансформаторов:

$$K_{\Pi.\text{ф}} = \frac{S_{p\Sigma}}{S_T} = \frac{44,8}{100} = 0,448 < 1,2.$$

Условие выполняется.

## 2.5. Выбор распределительных устройств

Для подключения насосов будем использовать кабель силовой медный с 5 медными токонесущими жилами, типа ВВГнг, прокладка в земле в трубах.

Для примера рассчитаем кабельную линию для 1 насоса.

Выбор сечения жил кабелей по допустимой токовой нагрузке.

Выбор сечения происходит по нижеприведенной формуле:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \alpha} = 38 \text{ А.} \quad (14)$$

Найдя величину тока, сечение провода находят по таблице [17]. При несовпадении расчетного и табличного значения тока, выбираем ближайшее наибольшее значение. Например, наше расчетное значение тока составило 38 А, выбираем по таблице ближайшее большее 47 А - с сечением 4 мм<sup>2</sup> (для медного пятижильного провода, прокладываемого в земле).

Выбор сечения жил кабелей по механической прочности.

Сечения токопроводящих жил проводов и кабелей в электропроводках должны быть не менее приведенных по таблице [17].

Из таблицы следует, что сечения жил кабелей по механической прочности для медных кабелей незащищенных и проложенных в трубах, металлических рукавах должно быть не менее 1 мм<sup>2</sup>.

По найденным значениям выбираем кабель для подключения 1 насоса от ШУН – ВВГнг 5х4, ток при прокладке в земле - 47 А, ток односекундного короткого замыкания - 430 Ампер.

Расчёт потерь напряжения в кабеле.

Потеря напряжения в кабеле — величина, равная разности между установившимися значениями действующего напряжения, измеренными в двух точках системы электроснабжения. Этот параметр необходимо знать при производстве любых электромонтажных работ — начиная от видеонаблюдения и ОПС и заканчивая системами электроснабжения промышленных объектов. Эта суммарная потеря, в нормальном режиме работы электроустановки, не должна превышать 5%.

Расчёт потерь линейного (между фазами) напряжения в кабеле при трёхфазном переменном токе производится по формулам:

$$\Delta U_{\kappa} = \frac{P \cdot R \cdot L + Q \cdot X \cdot L}{U_{\text{л}}^2} = 0,6 \%, \quad (15)$$

где Р - активная мощность, передаваемая по линии, Вт;

$Q$  - реактивная мощность, передаваемая по линии, ВАр;

$R$  - удельное активное сопротивление кабельной линии, Ом/м;

$X$  - удельное индуктивное сопротивление кабельной линии, Ом/м;

$L$  - длина кабельной линии, м;

$U_{\text{л}}$  - линейное напряжение сети, В.

Аналогичным способом производим расчеты для остальных электроприемников.

Расчет потерь напряжения на зажимах электроприёмников.

После того как был сделан выбор всех электрических связей производится расчёт суммарных потерь напряжения на зажимах всех электроприёмников.

Суммарная потеря напряжения в процентах, на зажимах каждого электроприёмника, вычисляется по формуле:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{тр}} + \sum \Delta U_{\text{каб}}, \quad (16)$$

где  $\Delta U_{\text{тр}}$  – потери напряжений на трансформаторе, %.

Потери напряжений на трансформаторе:

$$\Delta U_{\text{тр}} = K_3 \cdot (\Delta U_a \cdot \cos\varphi + \Delta U_p \cdot \sin\varphi) = 1,6\%,$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора,

$$\Delta U_a = \frac{P_k}{S_n} \cdot 100 = \frac{1,5}{100} \cdot 100 = 1,5\% ;$$

$$\Delta U_p = \sqrt{U_{\text{кз}}^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,5^2} = 4,2\% .$$

Рассчитаем суммарные потери напряжения в кабельных линиях, входящих в электрическую связь, идущую от питающего трансформатора до электроприёмника.

Произведем расчёт суммарных потерь напряжения для 1 насоса (16):

$$\Delta U_{\Sigma} = 1,6 + 0,9 + 0,6 = 3,1\% .$$

Для остальных электроприемников проводим аналогичные расчеты.

Выбранные сечения проверяют по потере напряжения. Зная напряжение на шинах источника питания и подсчитав потери напряжения в сети, определяют напряжение у потребителей. Суммарные потери занесены в



таблицу 3. Полные данные по выбору кабельных линий представлены в таблице А.3 (приложение А).

Таблица 3 - Суммарные потери

Наименование электроприёмника	$\Delta U_{\text{тр}}, \%$	Кабельные линии		$\Delta U_{\Sigma}, \%$
		$U_{\text{к1}}, \%$	$U_{\text{к2}}, \%$	
Насос 1	1,6	0,6	0,9	3,1
Насос 2	1,6	0,6	0,9	3,1
Насос 3 (резерв)	1,6	0,6	0,9	3,1
ШУН	1,6	0,8	0,9	3,3
ША	1,6	0,7	0,9	3,2
ЩО	1,6	0,5		
ЩС	1,6	0,9		

## 2.6. Расчет токов короткого замыкания

Требуется определить вероятные максимальное и минимальное значения тока в начальный момент КЗ в точке К1 и к моменту отключения КЗ.

Проводим расчеты токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ по методикам, которые приведены в литературе [4,18].

Токи короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В рекомендуется рассчитывать в именованных единицах.

Определим суммарное активное ( $R_{1\Sigma}$ ) и суммарное индуктивное сопротивления ( $X_{1\Sigma}$ ) прямой последовательности расчетной схемы относительно точки короткого замыкания.

$$R_{1\Sigma} = \sum R_{1T} + \sum R_{1KB} + \sum R_{1\text{конт}} + \sum R_{1\text{ш}}; \quad (17)$$

$$X_{1\Sigma} = \sum X_{1c} + \sum X_{1T} + \sum X_{1KB} + \sum X_{1\text{ш}}. \quad (18)$$

Однако, при отсутствии начальных данных индуктивное сопротивление можно найти по формуле:

$$X_{1\Sigma} = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{откл.ВН}} \cdot U_{\text{ср.ВН}}}, \quad (19)$$

где  $I_{откл.ВН}$  – отключающая способность близкого к трансформатору предохранителя, установленного на стороне высшего напряжения трансформатора;

$U_{ср.НН}$  – среднее значение номинального напряжения низшего напряжения трансформатора.

По формуле (19):

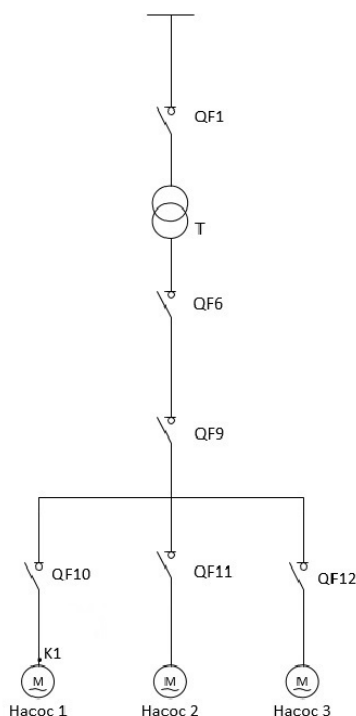


Рисунок 3 - Схема замещения

$$X_{1\Sigma} = \frac{230^2}{\sqrt{3} \cdot 0,25 \cdot 380} = 0,3 \text{ мОм.}$$

$R_{1Т}$  (активное) и  $X_{1Т}$  (индуктивное) сопротивление прямой последовательности понижающего трансформатора, приведенные к низшему напряжению.

$$R_{1Т} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{НН}^2}{S_{тр}^2}; \quad (20)$$

$$X_{1Т} = \left( \sqrt{\frac{U_{кз}^2}{100^2} - \frac{\Delta P_{кз}^2}{S_{тр}^2}} \right) \cdot \frac{U_{НН}^2}{S_{тр}},$$

(21)

где  $S_{тр}$  – номинальная мощность трансформатора;

$\Delta P_{кз}$  – потери короткого замыкания в трансформаторе;

$U_{ср.НН}$  – номинальное напряжение низшего напряжения трансформатора.

$U_{кз}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора.

Исходя из формул (20) и (21):

$$R_{1т} = \frac{1450 \cdot 230^2}{(100 \cdot 10^3)^2} = 7,7 \text{ мОм};$$

$$X_{1т} = \left( \sqrt{4,5^2 - \frac{1450^2}{(100 \cdot 10^3)^2}} \right) \cdot \frac{230^2}{100 \cdot 10^3} = 22,4 \text{ мОм}.$$

$R_{1кв}$  (активное) и  $X_{1кв}$  (индуктивное) сопротивление прямой последовательности катушек электромагнитных расцепителей и подвижных контактов автоматических выключателей заносим в нижеприведенную таблицу 4.

Таблица 4 – Сопротивления автоматических выключателей

Обозначение выключателя	Номинальный ток, А	Активное сопротивление, мОм	Индуктивное сопротивление, мОм
QF1, QF2	250	0,4	0,12
QF3, QF4, QF5, QF6	200	1,1	0,5
QF7	10	7	4,5
QF8	16	7	4,5
QF9	160	1,5	0,37
QF10, QF11, QF12	63	4	2,1

$R_{1ш}$  (активное) и  $X_{1ш}$  (индуктивное) сопротивление прямой последовательности шинпровода ШРА-73 будут соответственно равны 1 мОм и 1,3 мОм.

$R_{1кб}$  (активное) и  $X_{1кб}$  (индуктивное) сопротивление прямой последовательности кабелей и проводов, проложенных в трубах.

Для примера выполним расчёт для одно из кабелей:

$$R_{1кб} = r_{1кб} \cdot l_{кб}; \quad (22)$$

$$X_{1кб} = x_{1кб} \cdot l_{кб}, \quad (23)$$

где  $l_{кб}$  – длина кабеля.

Рассчитаем по формулам (22) и (23):

$$R_{1кб} = 4,65 \cdot 8 = 37,2 \text{ мОм};$$

$$X_{1кб} = 0,1 \cdot 8 = 0,8 \text{ мОм}.$$

По аналогии делаем расчеты для остальных кабелей и заносим в таблицу 5.

Таблица 5 - Сопротивления кабелей

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	$r_{1кб}$ , мОм/м	$x_{1кб}$ , мОм/м	$l_{кб}$ , м	$R_{1кб}$ , мОм	$X_{1кб}$ , мОм
4	4,65	0,1	8	37,2	0,8
35	0,54	0,9	14	7,56	12,6
0,5	15	0,135	15	225	2,025
0,5	15	0,135	1	15	0,135
1,5	14,09	0,126	8	112,72	1,008

Рассчитаем суммарные сопротивления от источника питания до точки К1 по схеме замещения (рисунок 3) (17 и 18).

$$R_{1\Sigma} = 0,4 + 7,7 + 1,1 + 7,56 + 1,5 + 4 + 37,2 + 1 = 60,46 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 0,12 + 22,4 + 0,5 + 12,6 + 0,37 + 2,1 + 0,8 = 38,89 \text{ мОм}.$$

Начальное значение периодической составляющей трехфазного тока короткого замыкания от источника питания до точки К1 определяется по формуле:

$$I_{нз} = \frac{U_{ср.НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(60,46)^2 + (38,89)^2}} = 3,2 \text{ кА}.$$

Ударный ток для точки К1 от источника питания до неё же определяется по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{нз} \cdot K_{уд}, \quad (24)$$

где  $I_{нз}$  - начальное значение периодической составляющей трехфазного тока короткого замыкания от источника питания до точки К1;

$K_{уд}$  – ударный коэффициент, определяется по кривым на рисунке [4].

Найдем по (24) формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 3,2 \cdot 1,5 = 6,8 \text{ кА}.$$

По последним вычисленным величинам токов делаем проверку автоматических выключателей и других защитных устройств.

## 2.4. Выбор электрических аппаратов

Автоматические выключатели

Берем для примера расчет для 1 насоса, выбираем автоматический выключатель QF10 вида ВА88-32 3Р 63А 25кА  $U_H=400$  В;  $I_H=63$  А;  $I_{cu}=25$  кА.

Выбор по напряжению сети:

$$U_{H.a} = 400 \text{ В} \geq U_{H.c} = 380 \text{ В}.$$

Выбор по допустимой токовой нагрузке:

$$I_{H.a} = 63 \text{ А} \geq I_H = 39 \text{ А}.$$

Предварительная оценка отключающей способности автомата:

$$I_{cu} = 25 \text{ кА} \geq I_{по} = 5,57 \text{ кА};$$

$$I_{по} = \left( \frac{100}{U_{кз}} \right) \cdot \left( \frac{S_{н.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}} \right) = \left( \frac{100}{4,5} \right) \cdot \left( \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 230} \right) = 5,57 \text{ кА}.$$

За фактическое значение уставки срабатывания токовой отсечки выбирается стандартное значение уставки срабатывания токовой отсечки выбранного автоматического выключателя:

$$I_{p.уст.то} = 2500 \text{ А}.$$

Производим выбор уставки срабатывания защиты от перегрузки.

Расчетная уставка срабатывания защиты от перегрузки [1]:

$$I_{пер.мин} = K_p \cdot K_z \cdot I_p = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 39 = 47,19 \text{ А};$$

$$I_{пер.макс} = K_p \cdot K_z \cdot I_p = 1,1 \cdot 1,3 \cdot 39 = 55,77 \text{ А};$$

где  $I_p$  – расчетный ток для данной линии;

$$K_p = 1,1;$$

$K_z = 1,0 \dots 1,1$  – для не перегружаемых цепей (нагревательных элементов и т.п.);

$K_z = 1,1 \dots 1,3$  – для цепей, в которых возможны кратковременные перегрузки (например, при пуске двигателя или трансформатора и т.п.).

Делаем аналогичный выбор для оставшихся электроприемников и заносим полученные данные в таблицу А.1 (приложение А).

Пускатели (контакторы)

Берем для примера расчет для 1 насоса, выбираем контактор вида КМИ35062[6].

$$U_{конт} = 380 \text{ В} = U_{H.c} = 380 \text{ В}.$$

Выбор по допустимой токовой нагрузке главных контакторов пускателя:

$$I_{н.конт} = 50 \text{ A} \geq I_{н} = 39 \text{ A};$$

$$P_{конт} = 22 \text{ кВт} = P_{н} = 22 \text{ кВт}.$$

Выбор по роду тока и номинальному напряжению

Тип напряжения управления – переменный (АС),

Номинальное рабочее напряжение переменного тока - 400 В.

Так же аналогичным способом делаем выбор для оставшихся электроприемников и заносим полученные данные в таблицу А.2 (приложение А).

## **2.7. Проверка автоматических выключателей**

Оценка отключающей способности автомата происходит по выражению:

$$I_{cu} = 35 \text{ кА} \geq I_{по} = 6,27 \text{ кА},$$

где  $I_{cu}$  - номинальная отключающая способность автомата;

$I_{по}$  - начальное значение периодической составляющей трехфазного тока короткого замыкания.

Выключатель, для которого проводилась проверка по току, её прошёл. Далее для остальных выключателей делаем аналогичные действия и заносим в таблицу 6.

Таблица 6 - Проверка автоматических выключателей

Место установки	Условное обозначение	Тип автомата	Напряжение		Токовая нагрузка		Оценка отключающей возможности	
			$U_{н.авт}, В$	$U_{н.сети}, В$	$I_{н.авт}, А$	$I_p, А$	$I_{cu}, кА$	$I_{po}, кА$
Щит АВР	QF1, QF2	BA88-35 3P 250A	400	380	250	110,9	35	6,27
Щит ЩС	QF3, QF4, QF5, QF6	BA88-35 3P 200A	400	380	200	68	35	6,27
Щит ЩС	QF7	BA47-29 1P 10A	400	380	10	5,1	4,5	1,34
Щит ЩС	QF8	BA47-29 1P 16A	400	380	16	7	4,5	2,15
ШУН	QF9	BA88-33 3P 160A	400	380	160	60	35	6,27
ШУН	QF10, QF11, QF12	BA88-32 3P 63A	400	380	63	40	25	3,48

## 2.8. Заземляющее устройство

Заземлением называют преднамеренное гальваническое соединение металлических частей электроустановки с заземляющим устройством [29].

Существуют различные виды заземлений: защитное – выполняют с целью обеспечения электробезопасности при замыкании токоведущих частей на землю; рабочее – предназначено для обеспечения нормальных режимов работы установки; молнезащитное – для защиты электрооборудования от перенапряжений и молнезащиты зданий и сооружений. В большинстве случаев одно и то же заземление выполняет несколько функций, то есть одновременно является защитным, рабочим и так далее [29].

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников [29].

В качестве вертикальных заземлителей берем стальные стержни диаметром 15 мм и длиной 2 м, которые погружают в грунт методом ввертывания. Верхние концы электродов располагают на глубине 0,7 м от поверхности земли. К ним приваривают горизонтальные электроды стержневого типа из той же стали, что и вертикальные электроды.



Сопротивление заземляющего устройства для электроустановок напряжением до 1000 В не должно быть больше 4 Ом, поэтому расчетное сопротивление принимаем  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ .

Предварительно с учетом площади, занимаемой объектом, намечаем расположение заземлителей – по периметру с расстоянием между вертикальными электродами 4 м.

Сопротивление искусственного заземлителя при отсутствии естественных заземлителей принимаем равным допустимому сопротивлению заземляющего устройства  $R_{\text{и}} = R_3 = 4 \text{ Ом}$ .

Определяем расчетные удельные сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей:

$$\rho_{\text{рг}} = \rho_{\text{уд}} \cdot K_{\text{пг}} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{\text{рв}} = \rho_{\text{уд}} \cdot K_{\text{пв}} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где  $\rho_{\text{уд}}$  – удельное сопротивление грунта (суглинок);

$K_{\text{пг}}$ ,  $K_{\text{пв}}$  – повышающие коэффициенты для вертикальных и горизонтальных электродов, принятые по [29] для данной климатической зоны.

Сопротивление растеканию одного вертикального электрода стержневого типа.

$$R_{\text{овз}} = \frac{\rho_{\text{рв}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right) = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left( \ln \frac{2 \cdot 2}{15 \cdot 10^{-3}} + \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 68,9 \text{ Ом}.$$

Определяем примерное число вертикальных заземлителей при выбранном коэффициенте использования  $K_{\text{ив}} = 0,64$  [29].

$$N = \frac{R_{\text{овз}}}{K_{\text{ив}} \cdot R_{\text{и}}} = \frac{68,9}{0,64 \cdot 4} = 26,9 \approx 27 \text{ шт.}$$

Вычислим расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов по формуле:

$$R_{\text{роз}} = \frac{\rho_{\text{рг}}}{K_{\text{иг}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{d \cdot t} = \frac{200}{0,31 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 80} \cdot \ln \frac{80^2}{0,015 \cdot 0,71} = 17,04 \text{ Ом}.$$

Находим необходимое сопротивление вертикальных электродов.

$$R_{вз} = \frac{R_{ргз} \cdot R_{и}}{R_{ргз} - R_{и}} = \frac{17,04 \cdot 4}{17,04 - 4} = 5,23 \text{ Ом.}$$

Вычисляем количество вертикальных электродов при коэффициенте использования  $K_{иву} = 0,49$  принятым по [29]:

$$N = \frac{R_{овз}}{K_{иву} \cdot R_{вз}} = \frac{68,9}{0,49 \cdot 5,23} = 26,7 \approx 27 \text{ шт.}$$

Окончательно принимаем к установке 27 вертикально расположенных электрода поставленных по периметру ЦТП.

Также установлена молниезащита – молниеприемник, а щите АВР установлена главная заземляющая шина (ГЗШ), которая соединяется с основным контуром заземления.

## 2.9. Безопасность и экология окружающей среды

В данном разделе будут рассмотрены вопросы безопасности и экологичности окружающей среды и помещения в целом, так как в течение основной работы ЦТП или, допустим, его технического обслуживания, а также и ремонт электрооборудования, могут возникать ситуации различной опасности, как для окружающей среды, так и для человека.

Для начала рассмотрим условия микроклимата, в данных условиях, а именно в производственных, он определяется по следующим понятиям: температура воздуха, относительная влажность и скорость воздуха на рабочем месте. При нормальных параметрах микроклимата температура помещения держится в норме и не беспокоит человека. Для рабочей зоны помещения устанавливаются оптимальные микроклиматические условия по ГОСТ12.1.005-88 [3]. Для рабочего места обслуживающего персонала есть следующие параметры микроклимата:

- температура окружающего воздуха – 19-25 °С;
- относительная влажность -  $\leq 75\%$ ;

- скорость движения окружающего воздуха -  $\leq 0,2$  м/с.

Необходимые параметры могут быть достигнуты с помощью вентиляции и отопления помещения.

Хорошая полноценная работа также достигается за счет качественного освещения рабочего места. При плохом освещении человек быстро утомляется, возникает возможность ошибиться. Из-за плохого освещения может произойти опасная ситуация для жизни человека.

Различают три вида освещения: естественное, искусственное и совмещённое. В нашем ЦТП используется только искусственное освещение, так как для естественного нет окон. Применяются люминесцентные лампы, которые создают нужную освещенность в 75 люксов.

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом, — это работа насосов, вентиляторов и другого электрооборудования. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При повышенном шуме учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Также неблагоприятно отражается шум и на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Шум определяется следующими основными параметрами:

- уровень звукового давления;
- интенсивность звука;
- уровень звука.

Ещё есть вибрация, которая тоже неблагоприятно воздействует на организм человека. Вибрацию можно наблюдать при работе любого

оборудования, во время прохождения транспорта, при КЗ большие токи вызывают динамическую нагрузку.

Вибрация определяется следующими основными параметрами:

- частота;
- амплитуда колебаний.

Защита от вибраций должна начинаться, прежде всего, с их ликвидации.

Коллективные методы защиты:

- улучшение работы механизмов;
- применение амортизаторов (резиновых, пружинных, пневматических);
- использование виброгасящего основания под соответствующее оборудование;
- средства индивидуальной защиты: специальные рукавицы, перчатки, виброзащитные прокладки и обувь.

Воздействие электромагнитных полей. Источниками электромагнитных полей являются находящиеся вблизи ЛЭП, включающие коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики. В настоящее время в качестве предельно допустимой напряжённости электрического и магнитного полей на рабочих местах соответственно равно 500 В/м и 50 А/м. Предельно допустимое значение плотности потока энергии не должно превышать  $10 \text{ Вт/м}^2$ .

Основные параметры ЭМП:

- частота;
- напряжённость электрического поля;
- напряжённость магнитного поля;
- плотность потока энергии.

В электроустановках всех напряжений должна быть установлена защита рабочих от воздействия электромагнитного поля, напряжённость которого превышает допустимое значение, то есть необходимо ограничить время пребывания (таблица 7).

Таблица 7 - Допустимое время пребывания в электромагнитном поле

Напряженность поля E, кВ/м	5-10	10-15	15-20	20-25	25 и больше
Допустимое время пребывания	Не более 2 часов	90 минут	10 минут	5 минут	Без защиты не допускается

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока, до критической температуры;
- электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает такую реакцию организма, как возбуждение, что и обуславливает непроизвольное сокращение мышц.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести и к смерти человека.

Должны быть предусмотрены индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки,

указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара, системой противопожарной защиты, организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей, средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара, системы автоматической пожарной сигнализации, порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м<sup>3</sup>.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям служат изоляция этих самых частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление. Даже если при электропоражении работающий внешне сохраняет вид, как при нормальном самочувствии, он все равно должен быть немедленно осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, то есть пострадавшему должна быть оказана скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавшего нужно освободить от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и подобное) оказания первой помощи, то до прибытия скорой помощи необходимо начать оказывать первую медицинскую помощь (наружный массаж сердца, искусственное дыхание).

Необходимо также установить защитное заземление для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением или при пробое изоляции, а также и в других случаях.

### **3. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Данные методические указания предназначены для проведения практического занятия и включают в себя материал для закрепления знаний, полученных во время изучения профессионального модуля ПМ.01 «Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей», МДК 01.02 «Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения».

Выполнение данного практического занятия позволяет обучающимся воспользоваться своей накопленной базой знаний, и отработать навыки, полученные за время обучения.

По окончании практического занятия обучающийся должен будет составить отчет по проделанной работе и защитить его у преподавателя.

#### **Практическое занятие**

Тема: «Исследование работы автоматических выключателей».

Цель работы: освоить принцип действия, конструкцию, характеристики и методику выбора автоматического выключателя.

Задачи: овладеть методикой расчёта и выбора автоматических выключателей.

#### **Краткие теоретические сведения**

##### ***Конструкция и устройство автоматического выключателя***

Автоматические выключатели (выключатели, автоматы) являются коммутационными электрическими аппаратами, предназначенными для проведения тока цепи в нормальных режимах и для автоматической защиты электрических сетей и оборудования от аварийных режимов (токов короткого замыкания, токов перегрузки, снижения или исчезновения напряжения, изменения направления тока, возникновения магнитного поля мощных генераторов в аварийных условиях и др.), а также для нечастой коммутации номинальных токов (6-30 раз в сутки)[10].



Благодаря простоте, удобству, безопасности обслуживания и надежности защиты от токов короткого замыкания эти аппараты широко применяются в электрических установках малой и большой мощности.

Автоматические выключатели относятся к коммутационным аппаратам ручного управления, однако многие типы имеют электромагнитный или электродвигательный привод, что дает возможность управлять ими на расстоянии.

Автоматические выключатели постоянного и переменного тока существуют различных типов: однополюсные, двухполюсные и трехполюсные. Все они, независимо от количества полюсов, предназначены для оперативной коммутации и защиты электрических цепей от аварийных ситуаций: токов короткого замыкания и перегрузки сети, снижения или исчезновения напряжения, изменения направления тока и других.

Основные параметры автоматического выключателя:

- 1) номинальный ток;
- 2) номинальное рабочее напряжение;
- 3) отключающая способность;
- 4) номинальное импульсное выдерживаемое напряжение;
- 5) собственное время отключения.

Под собственным временем отключения автоматического выключателя принимают интервал времени от момента подачи команды на отключение до момента полного размыкания контактов.

Рассмотрим основные узлы автоматического выключателя, которые представлены на рисунке 4:

- 1) контактная системы;
- 2) дугогасительная система;
- 3) расцепляющее устройство;
- 4) расцепитель;
- 5) привод.

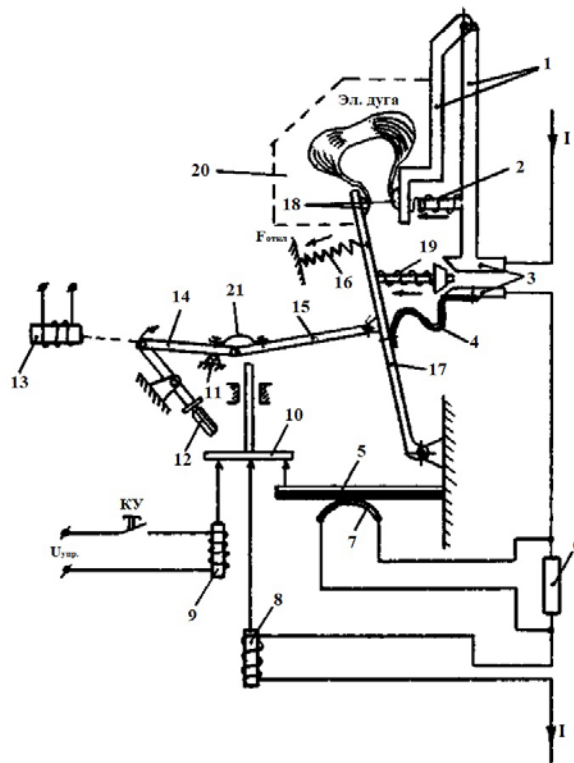


Рисунок 4 - Конструктивная схема автоматического выключателя

Контактная система включает в себя: главные и дугогасительные контакты (3 и 18), пружины контактного нажатия (2 и 19), компенсатор электродинамических усилий (1) и гибкую токоведущую связь (4). Она должна обеспечивать продолжительный режим работы при номинальном токе, не перегреваясь и не окисляясь, а также быть способной не повреждаясь включать и отключать высокие токи короткого замыкания.

Дугогасительная система включает в себя дугогасительную камеру (20), она должна обеспечивать гашение электрическую дугу, которая возникает при отключении тока короткого замыкания.

Для исключения возможности удерживать контакты автоматического выключателя во включенном положении рукояткой, либо дистанционным приводом, при наличии нестандартного режима в защищаемой цепи и для обеспечения моментального отключения, то есть не зависящий от оператора, рода и массы привода, а также скорости расхождения контактов, предназначен механизм свободно расцепления. Он представляет собой систему связанных рычагов шарнирами, соединяющих привод включения с

системой подвижных контактов, которые в свою очередь соединены с отключающей пружиной. Включает в себя звенья шарнирно-связанного рычага (14 и 15), контактный рычаг (17), упор (21), отключающую пружину (16), опору (11) и механическую связь (10).

Устройства, реализующие функцию защиты в автоматических выключателях, называются расцепителями. Он контролирует заданные параметры защищаемой цепи и при их отклонении отключает выключатель, воздействуя на механизм свободного расцепления. Состоит из биметаллического элемента (5), шунта (6), нагревателя (7), электромагнитного расцепителя (8) и независимого расцепителя для удаленного отключения (9).

Для включения выключателя по команде используется привод, который состоит из ручного привода (12) и электромагнитного привода (13).

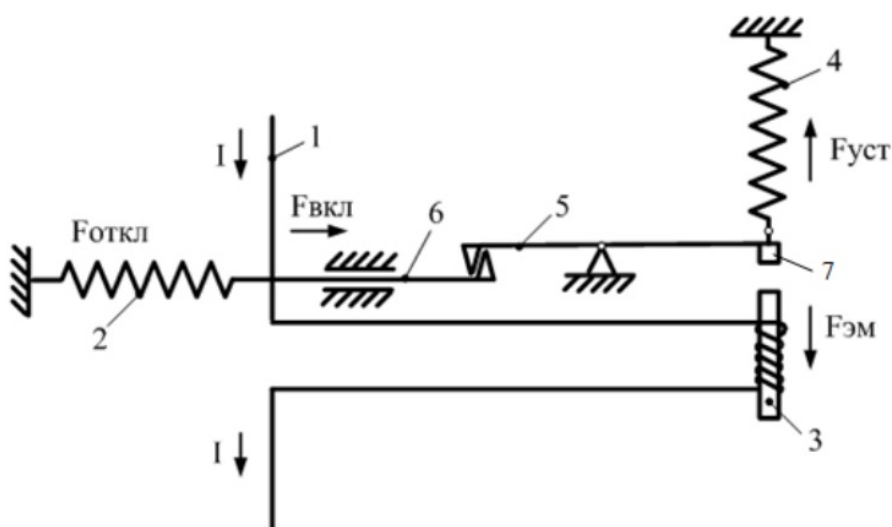


Рисунок 5 - Структурная схема действия автоматического выключателя

Рассмотрим рисунок 5: при стандартном режиме работы через главную токоведущую цепь (1) протекает ток ( $I$ ), который меньше тока срабатывания. В этом режиме зубья коромысла (5) и тяги (6) находятся в зацепленном состоянии, фиксируя замкнутое положение контактов главной цепи и удерживая отключающую пружину (2) в растянутом положении. Есть

соотношение  $F_{уст} > F_{эм}$  – это соотношение между усилиями пружины регулирования тока уставки срабатывания автоматического выключателя (4) и электромагнитного механизма(3).

Как только в цепи появляется ток, который превышает ток срабатывания, регулируемый пружиной, появится обратное соотношение, а именно  $F_{эм} > F_{уст}$ . В результате чего якорь электромагнитного механизма (7) сразу притягивается к катушке с сердечником, выводя коромысло и тягу из зацепа, что приводит к освобождению пружины отключения. Под действием  $F_{откл}$  происходит размыкание контактов системы главной цепи, в следствии чего автоматический выключатель отключается.

Чтобы вернуть автоматический выключатель во включенное положение необходимо деформировать отключающую пружину с усилием  $F_{вкл}$  с помощью воздействия человеческой силы.

Существует большое количество автоматических выключателей, которые различаются по виду расцепителя, осуществляемой защите, конструкции и по другим критериям.

Например, автоматические выключатели различные по виду расцепителя:

- расцепители автоматов максимального тока;
- расцепители автоматов минимального напряжения;
- расцепители автоматов минимального тока;
- расцепители обратной мощности и обратного тока.

### ***Выбор автоматического выключателя***

Выбор автоматических выключателей зависит от конфигурации и параметров защищаемой цепи и является не самой простой задачей. Для этого необходимо предварительно рассчитать токи короткого замыкания в различных участках сети и согласованность действия защиты. Однако есть общие требования при выборе автоматического выключателя:

- номинальное напряжение автомата  $U_{a.ном}$  должно соответствовать напряжению сети, в которой он устанавливается, а его отключающая способность должна быть не ниже максимального тока короткого замыкания на защищаемом им участке цепи;

- номинальный ток расцепителя  $I_{рц.ном}$  должен соответствовать максимальному рабочему току  $I_{раб.макс}$ , который может длительное время протекать по защищаемой им линии с учетом возможной перегрузки.

Расцепитель автоматического выключателя должен работать селективно, то есть отключать только тот участок, который поврежден. Селективность действия автоматического выключателя достигается путем согласования защитных характеристик его расцепителей. Чем ближе автоматический выключатель располагается к источнику питания, тем больше должна быть уставка тока расцепителя, и тем выше должна находиться его защитная характеристика. В сетях с напряжением не больше 1000 В необходима согласованность селективности действия автоматического выключателя и предохранителей. В некоторых случаях полной селективности их действия достигнуть не предоставляется возможным, из-за многообразия условий, в которых они работают.

Очень широко свое применение автоматические выключатели нашли в защите асинхронных электродвигателей, которые составляют около 50 процентов всех потребителей электроэнергии. Пусковой ток асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором превышает номинальный в 5-7 раз. Также необходимо учитывать возможность возникновения ударных токов, которые вызывают моментальное срабатывание электромагнитных расцепителей автоматического выключателя. С этим учетом уставка по току электромагнитного расцепителя  $I_{рц.ЭМ}$  автоматического выключателя для одного электродвигателя выбирается по условию:

$$I_{рц.ЭМ} \geq (1,5-1,8) \cdot I_{пуск} . \quad (25)$$

И для группы электродвигателей:

$$I_{\text{рц.ЭМ}} \geq (1,5-1,8) \left( \sum_{i=1}^n I_{\text{ном.}i} + (I_{\text{пуск.мах}} - I_{\text{ном.мах}}) \right), \quad (26)$$

где  $\sum_{i=1}^n I_{\text{ном.}i}$  - сумма номинальных токов одновременно работающих

электродвигателей;

$(I_{\text{пуск.мах}} - I_{\text{ном.мах}})$  - максимальная разность между пусковым номинальным током.

Уставки тепловых расцепителей выбираются по номинальному току электродвигателя с учетом условий пуска, для группы электродвигателей аналогично:

$$I_{\text{рц.тепл}} \geq (1,0-1,5) \sum_{i=1}^n I_{\text{ном.}i}. \quad (27)$$

Значения коэффициента запаса выбираются следующим образом:

- наименьшие - при легких условиях пуска;
- наибольшие – при тяжелом пуске мощных электродвигателей.

При недостатке данных номинальный и пусковой токи определяются по следующим формулам:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{3 \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \alpha \cdot \eta}, \quad (28)$$

$$I_{\text{пуск}} = K_I \cdot I_{\text{ном}}. \quad (29)$$

где  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности электродвигателя;

$U_{\text{н}}$  – номинальное напряжение обмотки двигателя, при соединении обмоток асинхронного электродвигателя по схеме «звезда»  $U_{\text{н}} = 220 \text{ В}$ , при схеме обмоток «треугольник»  $U_{\text{н}} = 380 \text{ В}$ ;

$\eta$  – КПД электродвигателя;

$K_I$  – кратность пускового тока.

### Задание

Рассчитать и выбрать автоматический выключатель для электродвигателя.

## **Требования к оформлению отчета**

Отчёт по практическому занятию оформляется индивидуально каждым студентом в электронном варианте, выполнившем необходимое задание. Страницы отчёта следует пронумеровать (титульный лист не нумеруется).

Титульный лист отчёта должен содержать фразу: «Отчёт по практическому занятию «Исследование работы автоматических выключателей», ниже: Выполнил студент группы (номер группы) (Фамилия, инициалы)». Внизу листа следует указать город и текущий год.

Вторая страница должна начинаться с формулировки «Цели работы».

Отчёт, как правило, должен содержать следующие основные разделы:

1. Цель практического занятия.
2. Задачи практической части.
4. Этапы выполнения работы.
5. Результаты проделанной работы, а именно таблица 8.
6. Выводы о проделанной работе.

Раздел с результатами включает в себя таблицу 8 с расчетными данными и сами расчёты, вместе с формулами.

В выводе важно отметить, какие новые знания о предмете исследования были получены при выполнении данного практического занятия.

Подготовить отчёт и быть готовым к защите у преподавателя, для этого нужно: хорошо изучить материал и ответить устно на контрольные вопросы, представленные в конце практического занятия. Преподаватель может задать дополнительные вопросы.

### **Ход работы**

1. Подготовка к работе

1.1. Изучить теоретические сведения об автоматическом выключателе.

1.2. Отобразить в своих рабочих тетрадях конструктивную схему (рисунок 4) и структурную схему действия автоматического выключателя (рисунок 5).

2. Получить у преподавателя индивидуальный номер варианта с номинальными данными электродвигателя (таблица 9).

3. Рассчитать уставки электромагнитных и тепловых расцепителей по формулам, которые предоставлены в разделе «Выбор автоматического выключателя», используя данные представленные в таблице 9, соответствующие номеру варианта.

3.1.Расчёт уставки электромагнитного расцепителя производится по формуле (25):  $I_{\text{рц.ЭМ}} \geq (1,5-1,8) \cdot I_{\text{пуск}}$ . Для этого сначала нужно рассчитать пусковой ток по формуле (29):  $I_{\text{пуск}} = K_I \cdot I_{\text{ном}}$ . Если нет данных о номинальном токе, то он рассчитывается по формуле (28):  $I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{3 \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \alpha \cdot \eta}$ .

3.2.Далее производится расчёт уставки теплового расцепителя по формуле (27):  $I_{\text{рц.тепл}} \geq (1,0-1,5) \sum_{i=1}^n I_{\text{ном.i}}$ .

3.3.Также возможно рассчитать уставки электромагнитного и теплового расцепителей для группы двигателей, для этого нужно воспользоваться формулами (26):  $I_{\text{рц.ЭМ}} \geq (1,5-1,8) \left( \sum_{i=1}^n I_{\text{ном.i}} + (I_{\text{пуск.max}} - I_{\text{ном.max}}) \right)$  и (27):

$$I_{\text{рц.тепл}} \geq (1,0-1,5) \sum_{i=1}^n I_{\text{ном.i}}.$$

4. По полученным данным подобрать соответствующий автоматический выключатель из таблицы 10.

5. Полученные данные занести в ячейки таблицы 8.

6. Составить отчёт о проделанной работе.

Таблица 8 - Полученные данные

Тип двигателя	$I_{\text{ном}}$	$I_{\text{пуск}}$	$I_{\text{рц.ЭМ}}$	$I_{\text{рц.тепл}}$	Тип автоматического выключателя



Таблица 9 - Номинальные данные электродвигателей

Вариант	Тип двигателя	Мощность, кВт	Об/мин	Номинальный ток, А	КПД, %	cosφ	K <sub>I</sub>
1	АИР71А2	0,75	3000	1,3	75	0,8	6
2	АИР71В2	1,1	3000	2,6	76,2	0,8	6
3	АИР71А4	0,55	1500	1,7	71	0,71	5
4	АИР71В4	0,75	1500	-	73	0,75	5
5	АИР71А6	0,37	1000	1,4	62	0,63	4,5
6	АИР71В6	0,55	1000	1,8	65	0,68	4,5
7	АИР80А2	1,5	3000	3,6	78,5	0,85	6,5
8	АИР80В2	2,2	3000	-	81	0,87	6,4
9	АИР80А4	1,1	1500	3,1	76,2	0,77	5,0
10	АИР80В4	1,5	1500	3,9	78,5	0,80	5,3
11	АИР80А6	0,75	1000	2,3	69	0,71	4,0
12	АИР80В6	1,1	1000	-	72	0,71	4,5
13	АИР80А8	0,37	750	1,5	62	0,59	3,5
14	АИР80В8	0,55	750	2,2	63	0,60	3,5
15	АИР90L2	3	3000	6,5	82,6	0,85	7,0
16	АИР90L4	2,2	1500	-	80	0,79	6,0
17	АИР100S2	4	3000	8,4	84,2	0,88	7,5
18	АИР100L2	5,5	3000	11,0	85,7	0,88	7,5
19	АИР100S4	3	1500	7,2	82,6	0,82	7,0
20	АИР100L4	4	1500	-	84,2	0,84	7,0

Таблица 10 - Типы автоматических выключателей

Тип автомата	Номин. ток автомата, А	Число полюсов	Вид расцепителя	Номин. ток расцепителя, А	Обозначение типа	Отсечка
1	2	3	4	5	6	7
АП-50	50	3	Комбинированный	1,6 2,5 4 6,4 10 16 25 40 50	АП-50-3МТ	11 I <sub>НОМ</sub>
АЗ160	50	3	Тепловой	15 20 25 30 40 50	АЗ163	-
АЗ110	100	3	Комбинированный	15 20 30 40 50 60 80 100	АЗ114/1	10 I <sub>НОМ</sub>
АЗ120	100	3	Комбинированный	15 20 25 30 40 50 60 80 100	АЗ124	430 600 800
АЗ130	200	3	Комбинированный	120 150 200	АЗ134	7 I <sub>НОМ</sub>
АЗ140	600	3	Комбинированный	250 300 400 500 600	АЗ144	7 I <sub>НОМ</sub>

Окончание таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7
AE2030	25	3	Комбинированный	0,6 0,8 1 1,25 1,6 2 2,5 3,2 4 5 6 8 10 12,5 16 20 25	AE2036	12 I <sub>ном</sub>
AE2040	63	3	Комбинированный	10 12,5 16 20 25 32 40 50 63	AE2046	12 I <sub>ном</sub>
AE2050	100	3	Комбинированный	16 20 25 32 40 50 63 80 100	AE2056	12 I <sub>ном</sub>
A3710	160	3	Комбинированный	16 20 25 32 40 50 63 80 100 125 160	A3716ф	1600
A3720	250	3	Комбинированный	160 200 250	A3726ф	2500
A3730	400	3	Комбинированный	250 320 400	A3736ф	4000
A3740	630	3	Комбинированный	400 500 630	A3746ф	6300

**Контрольные вопросы**

1. По каким параметрам выбираются автоматические выключатели?
2. Как устроен автоматический выключатель?
3. Механизм свободного расцепления, его назначение и принцип действия.
4. Что называется расцепителем автоматического выключателя?
5. Что такое селективность действия автоматического выключателя?
6. Перечислить типы расцепителей автоматического выключателя и объяснить принцип их действия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе объектом исследования являлся центральный тепловой пункт жилых домов, который обеспечивает их горячи водоснабжением и отоплением в холодные времена года. Предметом же данной выпускной квалификационной работы являлось электрооборудование, которое надо установить для правильной и бесперебойной работы насосов, которые снабжают жителей ближайшего района.

Для этого был выполнен расчет системы электроснабжения центрального теплового пункта. В котором изначально было установлено три насоса, но не было электроснабжения.

Работа была выполнена в соответствии с основными требованиями правил установки электрооборудования, правил техники безопасности и соответствующими ГОСТами.

Дана характеристика объекта электроснабжения.

Поставленные задачи были выполнены:

- произведены расчёты нагрузки для центрального теплового пункта;
- выполнен расчет токов короткого замыкания;
- был выполнен выбор силового трансформатора;
- произведен выбор защитной аппаратуры и проводников;
- произведен расчет заземляющего устройства;

Также была выполнена проверка выбранного электрооборудования и произведен расчет защитного контура заземления.

Рассмотрены вопросы безопасности и экологичности теплового пункта. Выбраны меры по технике безопасности, электробезопасности, противопожарной защите и воздействия на окружающую среду.

Тепловой пункт является экологически безопасным объектом, который может эксплуатироваться без нанесения вреда обслуживающего персонала и окружающей среде при соблюдении всех правил и норм.

Разработанное практическое занятие, в котором рассмотрены более подробно автоматические выключатели и как произвести их выбор.

Цель выпускной квалификационной работы можно считать достигнутой, так как разработана главная схема электроснабжения центрального теплового пункта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беркович А.М. Основы техники релейной защиты. / А.М. Беркович, В.В. Молчанов, В.А. Семенов – Москва: Энергоатомиздат, 1984. - 375 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. / Общая энергетика. Учебник - Москва: Кнорус. 2016. – 243 с.
3. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: ввод в действие с 01.01.1989 – Москва: Издательство стандартов, 1989.
4. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ: ввод в действие с 01.01.1995 – Москва: Издательство стандартов, 1994.
5. ГОСТ 31947-2012 Провода и кабели для электрических установок на номинальное напряжение до 450/750 В включительно. Общие технические условия: ввод в действие с 01.01.2014 – Москва: Издательство стандартов, 2014.
6. Группа компаний «IEK» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iek.ru/> - главная страница (дата обращения 25.05.2018).
7. Данилов Н.И. Энергосбережение - Екатеринбург: Энерго-Пресс, 1999. - 109 с.
8. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. 4-е изд., переработанные и дополненные - Москва: Энергоатомиздат, 1983. - 208 с.
9. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию. Учебное пособие - Томск: ТПУ, 2005. – 168 с.
10. Кабышев А.В., Тарасов Е.В. Низковольтные автоматические выключатели: Учебное пособие – Томск: ТПУ, 2011. – 346 с.

11. Компания «Гидротехника» [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.hydrotehnika.ru/> - главная страница (дата обращения 29.05.2018).
12. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. пособие для техникумов - Москва: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.
13. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования - Москва: Издательство Мастерство, 2001. - 320с.
14. Кудрин Б.И., Прокопчик В.В. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов - Москва: Высш. шк. 1988.- 420 с.
15. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций: Справ. Материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. - Москва: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.
16. НТП ЭПП-94. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. Нормы технологического проектирования (1 редакция): ввод в действие с 01.01.1994 - ОАО «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1994.
17. Правила устройства электроустановок: ПУЭ: Издание 7: утв. Министерством топлива и энергетики РФ 06.10.1999: ввод в действие с 01.07.2000 - Москва. Издательство НЦ ЭНАС, 1999.
18. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: ввод в действие с 23.03.1998 - Москва. Издательство НЦ ЭНАС, 2002.
19. Ристхейн Э.М. Электроснабжение промышленных установок: Учеб. для вузов - Москва: Энергоатомиздат, 1991. - 424 с.
20. Рожкова Л.Д., Козулин Б.С. Электрооборудование станций и подстанций - Москва: Энергоатомиздат, 1987. - 648 с.
21. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок: ввод в действие с 01.01.93 - ОАО «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1992.

22. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под ред. Б.Н.Неклепаева - Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2001. - 152с.
23. Сивков А.А., Сайгаш А.С., Герасимов Д.Ю. Основы электроснабжения - Москва: Юрайт. 2016. – 173 с.
24. Справочник: Комплектные электротехнические устройства - Москва: Энергоатомиздат, 1999.
25. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г. Барыбина и др - Москва: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.
26. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва. Энергоатомиздат, 1992. - 448 с.
27. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение: ввод в действие с 20.05.2011 - Москва: ОАО «ЦПП», 2011.
28. Федеров А.А., Каменев В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. - Москва: Энергоатомиздат, 1984. - 576 с.
29. Федеров А.А., Стариков Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов - Москва: Энергоатомиздат, 1987. 368 с.
30. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. Учебное пособие, 1-е изд. - Москва: Лань. 2013. – 194 с.
31. Шабад В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах - Москва: Академия. 2013. – 232 с.
32. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению - Москва: Форум. 2011. – 137 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Выбор автоматических выключателей

Место установки	Условное обозначение	Тип автомата	Напряжение		Токовая нагрузка		Оценка откл. возможности		Предварительный выбор уставки токовой отсечки					Выбор уставки защиты от перегрузки				
			$U_{н.авт}, В$	$U_{н.сет}, В$	$I_{н.авт}, А$	$I_p, А$	$I_{сч}, кА$	$I_{по}, кА$	$K_p$	$K_z$	$I_{пик}, А$	$I_{р.уст}, А$	$I_{уст.факт}, А$	$K_z, min$	$K_z, max$	$I_{р.уст. min}, А$	$I_{факт.уст. пер}, А$	$I_{р.уст. max}, А$
Щит АВР	QF1, QF2	BA88-35 3P	400	380	250	110,9	35	6,27	1,1	1,3	220,3	506,7	3500	1,1	1,3	133	250	159,6
Щит ЩС	QF3, QF4, QF5, QF6	BA88-35 3P	400	380	200	68	35	6,27	1,1	1,3	138,6	318,8	3500	1,1	1,3	81,6	200	97,24
Щит ЩС	QF7	BA47-29 1P	400	380	10	5,1	4,5	1,34	1,1	1,3	5	11,5	450	1,1	1,3	6,12	10	7,3
Щит ЩС	QF8	BA47-29 1P	400	380	16	7	4,5	2,15	1,1	1,3	8	18,4	450	1,1	1,3	8,4	16	10
ШУН	QF9	BA88-33 3P	400	380	160	60	35	6,27	1,1	1,3	113,4	260,8	3500	1,1	1,3	72	160	85,8
ШУН	QF10, QF11, QF12	BA88-32 3P	400	380	63	40	25	3,48	1,1	1,3	58,5	134,6	250	1,1	1,3	48	63	57,2



Таблица А.2 - Выбор магнитных пускателей

Условное буквенное обозначение контактора на схеме	Тип контактора	Категория применения	Коммутационная износостойкость, млн. циклов	Наличие реверса	Проверка по напряжению		Проверка по длительно допустимой токовой нагрузке				Число и вид блок-контактов	Тип дополнительного модуля блок-контактов	Число дополнительных модулей блок-контактов	Род тока катушки и контактора	Номинальное напряжение катушки контактора, В
					U <sub>н.конт</sub> , В	U <sub>н.сети</sub> , В	I <sub>н.конт</sub> , А	I <sub>р</sub> , А	P <sub>конт.доп</sub> , кВт	P <sub>р</sub> , кВт					
КМ1, КМ2, КМ3	КМИЗ 5062	АС-3	1,0	Нет	400	380	50	40	22	22	1 з + 1 р ПКЛ -11(М)	2р+2з ПКЛ 22(М) -	2	Переменный (АС)	230

Таблица А.3 - Выбор кабельных линий

Линия		Тип кабеля	Проверка по длительно допустимой токовой нагрузке					Проверка по механической прочности, $S_{min}, \text{мм}^2$	Потеря напряжения в линии						Итоговое сечение, $\text{мм}^2$
Откуда	Куда		$S, \text{мм}^2$	$I_{дл. доп}, \text{А}$	$K_4$	$I_{дл. доп} \cdot \prod_{i=1}^n K_i \geq I_p$	$I_p, \text{А}$		$R_o, \text{МОм/м}$	$X_o, \text{МОм/м}$	$L, \text{м}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$\Delta U_{кл}, \%$	
Щит АВР	Щит ЩС	ВВГнг	35	158	-	158	134	1	0,54	0,9	1	0,91	0,41	0,78	35
Щит ЩС	ШУН	ВВГнг	35	158	-	158	112	1	0,54	0,9	14	0,91	0,41	0,66	35
Щит ЩС	ША	ВВГнг	1,5	27	-	27	16	1	14,09	0,126	15	0,95	0,31	0,06	1,5
Щит ЩС	ЩО	ВВГнг	1,5	27	-	27	11	1	14,09	0,126	1	0,95	0,31	0,06	0,5
ШУН	Насос1	ВВГнг	4	47	-	47	39	1	4,65	0,1	8	0,93	0,37	0,31	4
ШУН	Насос2	ВВГнг	4	47	-	47	39	1	4,65	0,1	8	0,93	0,37	0,31	4
ШУН	Насос3	ВВГнг	4	47	-	47	39	1	4,65	0,1	8	0,93	0,37	0,31	4

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Рисунок Б.1 - Схема электроснабжения теплового пункта

